

Neues aus der Wissenschaft

Die folgenden Beiträge beziehen sich auf neuere wissenschaftliche Originalarbeiten zur Wirkung hochfrequenter Felder des Mobilfunks. Die Auswahl der Publikationen ist vom Autor selbst getroffen und durch sein subjektives Urteil der Relevanz bestimmt.

Roland Glaser

Genotoxische Effekte durch Felder des Mobilfunks?

DNA-Schäden in Eizellen von *Drosophila* durch Felder von GSM- und DCS-Handys. Nachdem eine Arbeitsgruppe aus Griechenland bereits vor einigen Jahren über die Beeinflussung der Fertilität der Taufliegen unter dem Einfluss von Handystrahlen berichtet hatte (Panagopoulos et al.: *Electromagnetic Biol. Med.* 2004; **23**, 29), stellen diese Autoren jetzt entsprechende zytologische Untersuchungen vor. Mit Hilfe fluoreszenzmikroskopischer Untersuchungen von Ei- und Follikelzellen wird das Auftreten von DNA-Strangbrüchen nachgewiesen und als Signale für eine nachfolgende Degeneration der Zellen gewertet. Man exponierte jeweils 10 Fliegen 6 Minuten pro Tag an 6 aufeinander folgenden Tagen durch ein Handy, das auf GSM bzw. DCS umgeschaltet, sich direkt an dem Glasgefäß mit den Tieren bzw. 1 cm davon entfernt befand. Während des Experiments wurde auf das Handy gesprochen um es sendend zu aktivieren. Damit, so die Autoren, sei im Gegensatz zu künstlichen Expositionssystemen eine Bestrahlungssituation geschaffen, welche jener der täglichen Belastung am

nächsten sei. Eine genaue Dosisleistung konnte auf diese Weise natürlich nicht angegeben werden. Die in Tabelle, Grafik und Abbildungen dargestellten Ergebnisse mikroskopischer subjektiver Auswertung zeigen, dass nicht nur in den Follikelzellen, sondern auch in den Eizellen selbst eine mehrfach erhöhte Anzahl von DNA-Brüchen auftritt, wobei sich die 900 MHz Felder des GSM offenbar als effektiver erwiesen als die 1,8 GHz des DCS-Systems. Die Ergebnisse in ihrer überraschenden Eindeutigkeit erfordern natürlich eine Überprüfung von unabhängiger Seite. Die Diskussion ist tendenziös, indem suggeriert wird, die Ergebnisse seien durch die Befunde der meisten anderen Autoren gestützt (Salford, Goodman, Lai, Diem) ohne die dazu gehörigen Gegendarstellungen zu erwähnen. Fehlerhaft ist die Aussage der Autoren, wegen der Pulsmodulation sei die Strahlung eine Kombination von hoch- und niederfrequenten elektromagnetischen Feldern. Dadurch ist auch die Interpretation falsch, wonach der niederfrequente Anteil auf Prozesse des Ionentransportes wirken sollte. Die Autoren ziehen weitgehende Schlüsse bis hin zur Notwendigkeit der Veränderung der Grenzwerte.

Panagopoulos, D. J.; Chavdoula, E. D.; Nezis, I. P.; Margaritis, L. H.: Cell death induced by GSM 900-MHz and DCS 1800-MHz mobile telephony radiation. Mutat. Res. (2007) 626, 69-78.

Mikronuclei in Blutzellen von Ratten nach 2,45 GHz-

Exposition. Mehrfach berichtete diese Arbeitsgruppe aus Zagreb bereits über Störungen der Blutbildung im Knochenmark (Auftreten polychromatischer Erythroblasten) und das etwas gehäufte Auftreten von Mikronuclei im peripheren Blutbild von Ratten, die zwei Stunden pro Tag mit 1,25 W/kg (errechneter Wert) eines kontinuierlichen 2,45 GHz Feldes exponiert wurden. Wie auch in der vorigen Arbeit dargestellt (Trosic et al.: *Mutagenesis* 2004; **19**, 361, siehe: „Neues aus der Wissenschaft“ 1, 2005), treten diese Effekte mit geringer Signifikanz zwischen dem 8. und 15. Tag auf, um dann wieder zu verschwinden (die Fig. 2 enthalten in beiden Publikationen die gleichen Daten, wenn auch mit unterschiedlicher Darstellungsweise). Die Autoren erklären dies als das Resultat biologischer Kompensation. Trotz der formalen Signifikanz ($p < 0,05$) bleiben angesichts der dargestellten Streuungen der gemessenen Werte nach wie vor Zweifel, beziehen sich doch die Aussagen lediglich auf geringe Abweichungen an jeweils einem Messpunkt. Trosic, I.; Busljeta, I.: *Erythropoietic dynamic equilibrium in rats maintained after microwave irradiation. Exp. Toxicol. Pathol.* (2006) **57**, 247-251.

Mikronuclei in Blutzellen neugeborener Ratten exponierter Muttertiere.

Eine brasilianische Arbeitsgruppe exponierte 6 trächtige Ratten (Analoges Mobiltelefon, 600 mW, 834 MHz, geschätzter SAR-Wert: 0,5 bis 1,23 W/kg) 8,5 Stunden pro Tag, täglich bis zur Zeit des Wurfes, und analysierte anschließend Blut und Leber der Neugeborenen. Wie bereits in einer vorausgegangenen Arbeit (Ferreira et al.: *Bioelectromagnetics* 2006; **27**, 487, siehe: „Neues aus der Wissenschaft“ 1, 2007), konnte keine Veränderung der oxydativen Parameter gefunden werden. Allerdings traten in dem Blut der Tiere aus dem Wurf exponierter Mütter (1,23 von 1000) im Vergleich zu denen der Kontrollen (0,5 von 1000) (4 Tiere) eine erhöhte Anzahl von Mikronuklei auf. Leider werden keine genauen Angaben über die Statistik gemacht (Anzahl der Tiere, der Proben, der ausgezählten Zellen). Die Autoren diskutieren die Ergebnisse ausführlich und kommen zu dem Schluss, dass ein unbekannter Mechanismus direkt im Kern wirksam sein müsse.

Ferreira, A. R.; Knakievicz, T.; Pasquali, M. A. D.; Gelain, D. P.; Dal-Pizzol, F.; Fernandez, C. E. R.; De Salles, A. A. D.; Ferreira, H. B.;

Moreira, J. C. F.: *Ultra high frequency-electromagnetic field irradiation during pregnancy leads to an increase in erythrocytes micronuclei incidence in rat offspring. Life Sciences* (2006) **80**, 43-50.

Weder bei gepulsten 2,45, noch 8,2 GHz Feldern sind zytogenetische Effekte in menschlichen Lymphozyten nachweisbar.

Blutproben von drei gesunden Spendern wurden 2 Stunden mit mittleren SAR Werten von 2,13 W/kg (2,45 GHz, Pulslänge: 0,01ms, Pulsfrequenz: 10 kHz) und 20,71 W/kg (8,2 GHz, Pulslänge: 8 ns, Pulsfrequenz: 50 kHz) exponiert. Als Positivkontrolle diente die Behandlung mit Gamma-Strahlen (1,5 Gy). In stimulierten (Phytohemagglutinin) und unstimulierten Kulturen der Lymphozyten wurden anschließend die Mitoserate sowie das Auftreten von Chromosomenaberrationen ausgewertet. Im Gegensatz zu der Exposition mit Gammastrahlen konnten selbst bei den intensiven 8,2-GHz-Pulsen keine Abweichungen der Werte von den unbehandelten Kontrollen gefunden werden. In einer ausführlichen Diskussion wird gezeigt, dass dieser negative Befund den Ergebnissen der meisten anderen Studien entspricht. Die von Koyama et al. (*Mutat. Res.* 2003; **541**, 81) gefundenen Aberrationen bei extrem hohen SAR-Werten von über 50 W/kg sind leicht thermisch erklärbar. Die Befunde von Diem et al. (*Mutation Research* 2005; **583**, 178) sowie von Zotti-Martelli et al. (*Mutat. Res.* 2005; **582**, 42) sind aus offensichtlichen methodischen Gründen fehlerhaft.

Vijayalaxmi: *Cytogenetic studies in human blood lymphocytes exposed in vitro to 2.45 GHz or 8.2 GHz radiofrequency radiation. Radiat. Res.* (2006) **166**, 532-538.

Mobilfunk und Stressproteine

Keine Aktivierung von Stressproteinen nach nicht-thermischer Exposition von Zellkulturen.

Die Ergebnisse der finnischen Arbeitsgruppe um Leszczynski (*Differentiation* 2002; **70**, 120, siehe: „Neues aus der Wissenschaft“ 1, 2003), die von einer Aktivierung von Hitzeschockproteinen und einer daraus folgenden Krebsgefahr nach Feldexposition sprach, konnten zwar von Miyakoshi et al. (*Bioelectromagnetics* 2005; **26**, 251, siehe: „Neues aus der Wissenschaft“ 3, 2005) nicht bestätigt werden, allerdings fanden die Japaner eigenartigerweise eine Verminderung von Hsp27 bei extrem starker Exposition. Um zu klären,

ob es vielleicht bisher unbekannte Mechanismen der HSP-Expression in Zellen gibt, führten Vanderwaal et al. aus der Arbeitsgruppe von Roti Roti entsprechende Experimente sowohl an HeLa Zellkulturen durch, als auch an den von Leszczynski verwendeten menschlichen Endothelialzellen (E.A. Hy926). Während weder die HeLa-Zellen nach Exposition mit einem TDMA-Signal (847 MHz, 5 W/kg, 1, 2, 24 Stunden), noch die Endothelzellen nach GSM-Exposition (900 MHz, 3,7 W/kg 1, 2, 5 Stunden) Änderungen in der Konzentration oder dem Grad der Phosphorylierung von Hsp27 zeigten, konnten deutliche Effekte bei den Proben festgestellt werden, welche 30 Minuten bei 45°C gehalten wurden. Interessant ist, dass nach 24 Stunden die scheinexponierten Zellen ebenso wie die exponierten geringe Unterschiede gegenüber den normalen Brutschrank-Kontrollen zeigten. Die Autoren setzen sich intensiv mit den Arbeiten von Leszczynski auseinander, der das Hsp27 nicht wie hier durch Immuntechnik nachgewiesen hat, sondern durch Markierung mit Radiophosphor. Wahrscheinlich, so Vanderwaal, hat er damit nicht den Anstieg der Konzentration gemessen, sondern nur eine geringe Variabilität des Phosphataustausches oder der Phosphorylierungs-Reaktion. Sie kommen zu dem Schluss, dass Messungen komplexer Veränderungen mit den Methoden der Genomics und Proteomics durch die ständige Variabilität der vielen Signalkaskaden leicht zu Fehlschlüssen führen können.

Vanderwaal, R. P.; Cha, B.; Moros, E. G.; Roti, J. L. R.: Hsp27 phosphorylation increases after 45°C or 41°C heat shocks but not after non-thermal TDMA or GSM exposures. Intern. J. Hyperthermia. (2006) 22, 507-519.

HF-Effekte empfindlich von Zelltyp, Frequenz, Kultivierungs- und Expositionsbedingung abhängig?

In einer etwas schwierig zu wertenden Publikation berichten 19 Autoren aus 9 europäischen Laboratorien über die Ergebnisse ihrer sehr heterogenen Untersuchungen im Rahmen des Reflex-Projektes. Verschiedene Zellen (Neuroblastoma-, Microglia-, Lymphoblastoma-, Endothelial- Zellen unterschiedlicher Kulturen, dazu menschliche Lymphozyten) wurden mit verschiedenen Frequenzen (von 900 bis 1800 MHz) sowie unterschiedlichen Expositionseinrichtungen und Methoden untersucht. DNA- und RNA-Analysen unter Verwendung moderner Array-Technik wurden als Indikatoren möglicher Veränderungen eingesetzt. Erwar-

tungsgemäß fielen die Ergebnisse unterschiedlich aus. Zumeist gab es keine Effekte. Mitunter wurden Änderungen der Genregulation nach oben oder auch nach unten registriert. Zumeist beruhen die Befunde jedoch nur auf wenigen Wiederholungs-Experimenten in jeweils ein und demselben Labor. Anstatt nun diese Ergebnisse der breit angelegten Screening-Studie nachfolgend einer intensiven Kontrolle und unabhängiger Replikation parallel durch alle beteiligten Institute zu unterziehen, wird geschlussfolgert, die Effekte seien eben sehr von Zelltyp und Bedingungen abhängig. Diese Aussage wäre wichtig, würde sie auf sicheren Erkenntnissen reproduzierter Befunde beruhen, nicht auf unterschiedlichen und unsicheren Ergebnissen verschiedener Laboratorien.

Remondini, D.; Nylund, R.; Reivinen, J.; De Gannes, F. P.; Veyret, B.; Lagroye, I.; Haro, E.; Trillo, M. A.; Capri, M.; Franceschi, C.; Schlatterer, K.; Gminski, R.; Fitzner, R.; Tauber, R.; Schuderer, J.; Kuster, N.; Leszczynski, D.; Bersani, F.; Maercker, C.: Gene expression changes in human cells after exposure to mobile phone microwaves. Proteomics (2006) 6, 4745-4754.

Aktivierung einer Signalkaskade durch schwache HF-Felder im nicht-thermischen Bereich.

Eine israelische Arbeitsgruppe publizierte umfangreiche biochemische Analysen von Veränderungen in Zellen zweier Kulturlinien (HeLa und Rat1) nach kurzzeitiger (5 - 30 Minuten) Exposition mit schwachen (0,005 bis 0,310 mW/cm²) HF-Feldern (800, 875, 900 MHz). Bereits nach 5 Minuten Exposition mit mindestens 0,03 mW/cm² kommt es zu einer Aktivierung der EPK-Kaskade, eines zu den MAPK (**Mitogen aktivierende Protein Kinasen**) gehörenden Signalsystems. Die als typische Stressfaktoren geltenden Signale konnten hingegen erst wesentlich später nachgewiesen werden, ein Indikator dafür, dass es sich bei dem Befund nicht um eine normale, vielleicht thermisch bedingte Stressreaktion der Zelle handelt. Bei diesen Experimenten wurden sogar Befunde mit unterschiedlichen Feldintensitäten durchgeführt und miteinander verglichen. Durch den Einsatz spezifischer Hemmstoffe und durch Experimente mit isolierten Membranen dieser Zellen versuchte man, dem Mechanismus auf die Spur zu kommen. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass der Ursprung der Wirkung bei dem in der Zellmembran lokalisierten Enzym NADH-Oxidase zu suchen ist, welches über die Freisetzung von Sauerstoffradikalen

(ROS) über den EGF-Rezeptor eben diese MAPK-Kaskade anregt. Die Befunde sind bemerkenswert und sollten von unabhängiger Stelle reproduziert werden.

Friedman, J.; Kraus, S.; Hauptman, Y.; Schiff, Y.; Seger R.: Mechanism of a short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequency. Biochem. J. (2007), published on 25 Apr 2007 as manuscript BJ20061653.

Einfluss auf Zellwachstum und -Entwicklung

Mikrodosimetrie aus anderer Sicht: Obgleich sich die Biophysik schon seit vielen Jahrzehnten für mögliche Temperaturgradienten in lebenden Zellen interessiert, blieb es bisher bei Spekulationen, da ein entsprechendes Messverfahren fehlte. Jetzt hat eine japanische Gruppe ein auf Fluoreszenzbasis arbeitendes Thermometer entwickelt, welches Temperaturen in Mikrometer-Dimensionen messen kann. Damit ließ sich feststellen, dass sich eine einzelne HeLa-Zelle durch die Wärmeproduktion aktivierter Ca-ATPasen, d.h. Membranproteinen, die eingeströmtes Kalzium in das endoplasmatische Retikulum (ER) pumpen, an ihrer Oberfläche um bis zu 1 Grad erwärmt. Diese Temperaturerhöhung ist in 20 Mikrometer Entfernung von der Zelle nicht mehr nachweisbar. Der nächste Schritt, so die Autoren, sei nun die Aufklärung stationärer Temperaturgradienten in der lebenden Zelle und deren physiologischer Rolle. Sie erwarten, dass sich die Wärmeleitung in der Zelle aufgrund ihrer Proteinstruktur deutlich von derjenigen in wässrigen Lösungen unterscheidet. Dafür spricht, dass die Temperaturerhöhung an der Zelloberfläche erst eine halbe bis zwei Minuten später einsetzt als die Aktivierung der Pumpen, die sich in den Membranen des ER, d.h. im Zellinneren, befinden. Diese Befunde widersprechen den klassischen Berechnungen von Schwan und Foster zur Mikrowellenerwärmung kleiner Kugeln, wonach die Wärmeleitung um Größenordnungen schneller erfolgen müsste (letzteres in der Publikation nicht erwähnt).

Suzuki, M.; Tseeb, V.; Oyama, K.; Ishiwata, S.: Microscopic detection of thermogenesis in a single HeLa Cell. Biophys. J. (2007) 92, L46 - L48.


Kein Einfluss von GSM-DTX-Feldern auf Apoptose und Nekrose von Leukämiezellen. Nach den Untersuchungen der Rostocker Gruppe zu möglichen Einwirkun-

gen von GSM-Feldern auf die Expression von Hitzeschockproteinen oder Sauerstoffradikalen in Kulturen menschlicher Leukämiezellen (Mono Mac 6) (siehe: Neues aus der Wissenschaft 2, 2006) wurde jetzt geprüft, ob Mitosezyklus, Apoptose oder Nekrose dieser Zellen nach Langzeitexposition (12 Stunden, 2 W/kg, 1800 MHz) beeinflusst werden. Zur Positivkontrolle verwendete man Zellen, die durch Toxine (PMA = phorbol-12-myristat-13 Azetat bzw. Glyotoxin) geschädigt waren. Im Gegensatz zu diesen biochemischen Eingriffen konnten keine Veränderungen durch die Hochfrequenz-Exposition gefunden werden.

Lantow, M.; Viergutz, T.; Weiss, D. G.; Simko, M.: Comparative study of cell cycle kinetics and induction of apoptosis or necrosis after exposure of human mono Mac 6 cells to radiofrequency radiation. Radiat. Res. (2006) 166, 539-543.

Zum Einfluss von HF-Feldern auf Nervenzellen

Keine Induktion von Apoptose an Primärkulturen von Nervenzellen. Nachdem die französische Arbeitsgruppe um Vanessa Joubert bereits nachweisen konnte, dass weder ungepulste noch GSM-gepulste 900 MHz Felder in der Lage sind, in Zellen aus menschlichen Hirntumoren (Neuroblastoma) die Prozesse des natürlichen Zell-Abbaues (Apoptose) zu beeinflussen (siehe: Neues aus der Wissenschaft 4, 2006), führten sie jetzt entsprechende Experimente an Primärkulturen von Hirnzellen aus Rattenembryonen durch. Die Zellkulturen wurden dem Feld 24 Stunden lang mit SAR-Werten von 0,25 W/kg ausgesetzt. Als Positivkontrolle induzierte man die Apoptose wieder durch Zugabe von Staurosporin. Die Zellen wurden 0 und 24 Stunden nach der Exposition getestet. Außerdem verwendete man drei unabhängige Analysemethoden, so dass es möglich war, die Apoptose in unterschiedlichen Stadien zu erfassen. Im Gegensatz zu den Positivkontrollen, konnten jedoch keinerlei Veränderungen in den exponierten Zellen beobachtet werden. Die Autoren diskutieren ihre Resultate ausführlich mit den Ergebnissen anderer Laboratorien, die gleichfalls keinen Einfluss fanden, aber auch solchen, die von einer Einwirkung der Felder auf diesen Prozess sprechen. Leider werden die bereits vorliegenden Publikationen nicht zitiert, die kritische Bedenken gegen letztere begründen (vielleicht aus falsch verstandener



Toleranz). Die Schlussfolgerung lautet deshalb wiederum nur: bei **diesen** Zellen und **diesen** Bedingungen konnte kein Einfluss auf die Apoptose gefunden werden. Eine tatsächlich kritische Analyse der bisherigen Ergebnisse würde eigentlich eine generelle Schlussfolgerung zulassen.

Joubert, V.; Leveque, P.; Cueille, M.; Bourthoumieu, S.; Yardin, C.: No apoptosis is induced in rat cortical neurons exposed to GSM phone fields. *Bioelectromagnetics* (2007) **28**, 115-121.



Thermische Effekte

Auch im Glaskörper des Auges ist Wärmeableitung durch die Durchblutung zu beachten. Die Bedenken, das Handy am Ohr könnte zur Erwärmung des Glaskörpers im Auge führen und somit eine Kataraktgefahr darstellen, wurde bereits mehrfach durch Tierexperimente und Berechnungen als gegenstandslos erkannt. Allerdings, so eine japanische Gruppe, lag der Grenzwert für diesen Effekt bei narkotisierten Kaninchen mit 108 W/kg deutlich niedriger als bei nicht-narkotisierten (138 W/kg, Kojima et al. 2004, siehe: „Neues aus der Wissenschaft“ 4, 2004). Diesem Phänomen ging man jetzt auf den Grund und konnte experimentell und durch Modellierung zeigen, dass im Unterschied zu bisherigen Annahmen die Temperatur des Auges durch die Durchblutung der Aderhaut merklich reguliert wird. Bei narkotisierten Tieren ist dieser Mechanismus gehemmt.

Hirata, A.; Watanabe, S.; Kojima, M.; Hata, I.; Wake, K.; Taki, M.; Sasaki, K.; Fujiwara, O.; Shiozawa, T.: Computational verification of anesthesia effect on temperature variations in rabbit eyes exposed to 2.45 GHz microwave energy. *Bioelectromagnetics* (2006) **27**, 602-612.

Erwärmung des Gehörganges beim Telefonieren. In einer finnischen Studie an 30 Probanden wurde mit NTC-Thermistoren (Durchmesser 2,4 mm) die Temperatur 2 cm tief im Gehörgang gemessen. An einem Helm fixierte Mobiltelefone (Nokia 6150) dienten der Exposition (900 MHz: 2 W, 1,58 W/kg, 1800 MHz: 1 W, 0,7 W/kg). Bei Linkshändern war nur das linke Handy mit einem Akku belegt, bei Rechtshändern entsprechend das rechte. Während der 35-minütigen Exposition bzw. Scheinexposition und auch in der folgenden Entspannungsperiode wurden kontinuierlich Blutdruck, Herzfrequenz und Atemparameter gemessen sowie in kurzen Abständen verschiedene autono-

me Herzfunktionstests durchgeführt. Bei aktiven Handys mit Stromversorgung konnte im Gehörgang der exponierten Seite eine signifikante Erwärmung um 1,2 bis 1,3 Grad gemessen werden, die nach Meinung der Autoren jedoch nicht auf die HF-Felder, sondern auf Geräte-Erwärmung durch den Betriebsstrom zurückzuführen ist.

Tahvanainen, K.; Nino, J.; Halonen, P.; Kuusela, T.; Alanko, T. M.; Laitinen, T.; Länsimies, E.; Hietanen, M.; Lindholm, H.: Effects of cellular phone use on ear canal temperature measured by NTC thermistors. *Clin Physiol Funct Imaging* (2007) **27**, 162-172.



Untersuchungen an Probanden

Zur Situation der Forschung über mögliche neuronale Einflüsse des Mobilfunks: Seit einer ersten Zusammenfassung der Untersuchungen zu kognitiven und neurophysiologischen Einflüssen nieder- und hochfrequenter Felder auf den Menschen (Cook et al: *Bioelectromagnetics* 2002; **23**, 144) sind in den letzten Jahren neue Publikationen mit zum Teil neuen Analysemethoden erschienen, die von diesen Autoren als Update der früheren Publikation erneut zusammengefasst und gesichtet werden. Leider sind viele neue Methoden der Neurologie schwierig anwendbar, teils weil sie gerade gegenüber EMF sehr störanfällig sind, wie das Magnetenzephalogramm, teils, weil sie selbst beträchtliche Expositionen für die Probanden bedeuten, wie die verschiedenen Varianten der Kernspintomographie. Hervorgehoben wird die Möglichkeit, Hirnaktivitäten durch Positronen-Emissions-Spektroskopie (PET) nachzuweisen, von der allerdings bisher leider zu wenig Gebrauch gemacht wurde. Im Unterschied zu Psychotests, die bei Untersuchungen im HF-Bereich bisher kaum Effekte zeigten, wurden, wenn auch widersprüchlich, bei EEG-Messungen mitunter gewisse Einflüsse im Bereich der Alpha-Wellen gefunden (die Publikationen sind tabellarisch erfasst). Haben die elektrophysiologisch nachweisbaren Änderungen keine psychologischen Konsequenzen oder sind die Psychotests nicht empfindlich genug? Das Problem der Aussagekraft dieser Experimente und ihre mögliche Verbesserung wird ausführlich diskutiert. Leider bleibt dabei die Relation zu Positivkontrollen unerwähnt und damit somit ausgeklammert, dass eigentlich doch nur solche Effekte von Interesse sind, die aus dem Rauschen von Alltagsreaktionen hervortre-

ten und damit eine Bedeutung für die Einschätzung gesundheitlicher Folgen haben könnten. Zu unterstreichen ist die Forderung der Autoren, in Zukunft individuelle Unterschiede stärker zu berücksichtigen, insbesondere bezüglich Geschlecht, Alter und Krankheit.

Cook, C. M.; Saucier, D. M.; Thomas, A. W.; Prato, F. S.: Exposure to ELF magnetic and ELF-modulated radiofrequency fields. The time course of physiological and cognitive effects observed in recent studies (2001-2005). Bioelectromagnetics (2006) 27, 613-627.

Keine Korrelation zwischen Feldexposition und Kopfschmerzen. In einer norwegischen Studie wurden 17 Personen im Alter von 20 bis 58 Jahren getestet, die angaben, während oder nach dem Gebrauch eines Handys eine Kopfschmerzattacke zu bekommen. Aus dem durch Presse und andere Medien ermittelten Personenkreis wählten die Autoren durch Fragebögen und Interviews nur solche Probanden aus, welche die Symptome speziell auf die Hochfrequenz des Handys bezogen und nicht auf elektromagnetische Felder generell. Jede Person wurde zunächst einem „offenen“ Test unterzogen, d.h. einer provokativen, dem Betroffenen bekannten Exposition, und nur dann zur Doppelblind-Studie zugelassen, wenn sich dabei die angegebenen Symptome bestätigten. Registriert wurden Blutdruck, Pulsfrequenz vor, während und nach dem Test, sowie subjektive Befindlichkeit und Abschätzung der Befeldungssituation (Feld, oder nicht-Feld). Da jeder Proband mehreren Doppeltests (d.h. Exposition und Schein-Exposition) unterzogen wurde, ergaben sich insgesamt 65 Testpaare. Nach 20 Minuten Aufenthalt im Versuchsraum erfolgte die Befeldung (bzw. Scheinbefeldung) während 30 Minuten (904,2 MHz, GSM-gespulst mit 217 Hz, mittl. SAR = 1 W/kg). In der nächsten Stunde im Testraum wurden alle 15 Minuten die Symptome registriert. Ferner waren die Probanden angehalten mögliche Symptome in den folgenden 7 Stunden aufzuschreiben. In 68 Prozent der Tests gaben die Probanden während oder kurz nach der Exposition bzw. Scheinexposition das Auftreten von Kopfschmerzen an. Eine Korrelation zur tatsächlichen Feld-Exposition konnte jedoch ebenso wenig nachgewiesen werden, wie jene zwischen subjektiver Empfindung des Feldes und objektiver Existenz desselben. Die statistische Relevanz dieser Schlussfolgerung, wonach es keinen Zusammenhang zwischen Feld und den Symptomen gibt, schätzen die

Autoren hoch ein. Das Argument, die Korrelation fehle bedingt durch die ungewöhnliche Situation der Probanden im Versuchsraum, lassen die Autoren deshalb nicht gelten, weil sonst ein Gewöhnungseffekt im Verlaufe der vierfachen Tests, jeweils im Abstand von mindestens zwei Tagen, hätte auftreten müssen. *Oftedal, G.; Straume, A.; Johnsson, A.; Stovner, L. J.: Mobile phone headache double blind, sham-controlled provocation study. Cephalalgia (2007) 27, 447-455.*

Neue epidemiologische Erhebungen

Kein Zusammenhang zwischen Handynutzung und Speicheldrüsentumor. Im Rahmen des Interphone-Projektes, das koordiniert durch die Internationale Agentur für Krebsforschung die Zusammenarbeit von 13 Ländern umfasst, erschien eine dänisch-schwedische Gemeinschaftsstudie zu einem möglichen Zusammenhang zwischen dem Gebrauch von Mobiltelefonen in den letzten 10 Jahren und gut- und bösartigen Speicheldrüsentumoren. Während bereits gutartige Adenome dieser Art relativ selten sind, leiden nur weniger als eine Person von 100.000 direkt an Speicheldrüsenkrebs. Dies beschränkt die Anzahl der erfassbaren Fälle. Die Untersuchung hatte ferner mit der Schwierigkeit zu kämpfen, dass die gutartigen Adenome überhaupt nicht und die malignen Tumore nicht vollständig im Krebsregister erfasst sind. Die Autoren waren deshalb auf die unmittelbare Zusammenarbeit mit klinischen Institutionen angewiesen. Wie üblich, basiert die Erhebung auf persönlichen Interviews mit den Betroffenen, in wenigen Fällen auch telefonisch. Es wurden insgesamt 128 Fälle mit gutartigen Speicheldrüsenadenomen erfasst und 71 Personen mit Speicheldrüsenkrebs. Als Kontrollen dienten 966 Vergleichspersonen. Man registrierte Telefoniergewohnheiten, Art der verwendeten Geräte, Rechts-Links-Nutzung des Handys sowie verschiedene soziologische Parameter. Generell konnten keinerlei Korrelationen zwischen Erkrankung und Handynutzung gefunden werden. Da die Odds-Verhältnisse teilweise unter 1 lagen, also formal einen Schutzeffekt des Handys vortäuschen, wurden ausführlich die Fehlermöglichkeiten diskutiert. Zumeist lag dies an einer individuellen Überschätzung der Handynutzung, zum Teil auch an der Zahl der Interview-Verweigerer der Kontrollgruppe, die zu einseitiger Selektion führ-

te. Das Ergebnis dieser Studie unterstreicht frühere Untersuchungen, die sich auf weniger Fälle und nur auf maligne Tumoren bezogen.

Lonn, S.; Ahlbom, A.; Christensen, H. C.; Johansen, C.; Schüz, J.; Edstrom, S.; Henriksson, G.; Lundgren, J.; Wennerberg, J.; Feychting, M.: *Mobile phone use and risk of parotid gland tumor. Am. J. Epidemiol.* (2006) 164, 637-643.

Auch bei beruflicher Exposition durch Hochfrequenzfelder kein signifikanter Zusammenhang mit Hirntumoren.

Als deutscher Beitrag zur Interphone-Studie wurde die berufliche Exposition von 747 Tumorpatienten (381 Meningeome, 366 Gliome) in den Regionen Bielefeld, Heidelberg und Mainz erfasst, deren Diagnose im Zeitraum zwischen dem 1.10. 2000 und dem 31.10. 2003 lag. Die Daten wurden mit jenen von 1494 Kontrollen verglichen. Die Befragung erfasste außer soziologischen Daten mögliche berufliche Expositionen mit hochfrequenten Feldern (Arbeiter an Geräten zur Erwärmung mit Mikrowellen, Radar- und Funktechniker, Amateurfunken etc.) und untergliederte in verschiedene Kategorien (z. B.: „nicht“, „wahrscheinlich nicht“, „wahrscheinlich“, „stark“). Obgleich Odds-Verhältnisse bis 1,34 erreicht wurden (in diesem Fall: 95% Konfidenzintervall von 0,64 bis 2,81!), waren die Werte in keinem Fall von 1,0 signifikant verschieden. Ursachen für die großen Streuungen und die teilweise Erhöhung der Mittelwerte über 1,0 sind einmal die geringen Fallzahlen, zum anderen Fehler, die durch individuelle Fehleinschätzungen (insbesondere Überschätzungen der Exposition bei den Erkrankten) und unterschiedlich große Erfassungsquote bei Erkrankten (83,8%) und Kontrollen (62,4%) entstehen. Die Autoren erhoffen mehr Klarheit durch die zusammenfassende Analyse aller Daten dieses internationalen Projektes.

Berg, G.; Spallek, J.; Schüz, J.; Schlehofer, B.; Bohler, E.; Schlaefer, K.; Hettinger, I.; Kunna-Grass, K.; Wahrendorf, J.; Blettner, M.: *Occupational exposure to radio frequency/microwave radiation and the risk of brain tumors interphone study group, Germany. Am. J. Epidemiol.* (2006) 164, 538-548.

Empfehlungen für neue epidemiologische Forschung.

Solche wurden angesichts der vielen, zum Teil methodisch kritikwürdigen Studien durch eine international zusammengesetzte Arbeitsgruppe ausgesprochen. Aussagen über Langzeitexposition sind besonders schwierig, da sich das Expositionsmuster der

Bevölkerung aus Gründen technischer Entwicklungen ständig verändert. Dabei sind Untersuchungen über lebensbedrohliche Krankheiten zu trennen von solchen, die sich auf allgemeines Unwohlsein beziehen. Prinzipiell gilt es zu überprüfen, ob es sich bei den immer wieder beschriebenen Beschwerden um einen echten Einfluss der Felder oder um einen Nocebo-Effekt handelt. In vielen Fällen sind dafür Laborstudien an Probanden besser geeignet als epidemiologische Erhebungen. Letzteres ist allerdings die Methode der Wahl, wenn davon ausgegangen wird, dass die Effekte erst nach wochenlangem Exposition auftreten. Methoden und damit Aussagekraft epidemiologischer Studien hängen nicht unwesentlich von den Ausgangshypothesen ab. Angenommen, die Felder hätten bei Ganztagesexposition bereits ab SAR Werten von 0,01 mW/Kg eine – wenn auch geringe – Wirkung, unspezifisch bezüglich Frequenz und Modulation. In diesem Falle wäre es wichtig, die Gesamtexposition durch HF-Felder aller Quellen zu berücksichtigen. Anderenfalls würde dies zu einer Unterschätzung einer möglichen Wirkung führen (Falsch-negativ-Resultat). Nur die wenig wahrscheinliche Annahme, die Wirkung sei frequenz- und modulationsspezifisch, könnte einen einseitigen Bezug auf die Emission durch Frequenzen des Mobilfunks rechtfertigen. Wichtig ist ferner die Berücksichtigung des Zeitraumes der Exposition, sei es bezüglich des Lebensalters (eventuell unterschiedliche Empfindlichkeit von Kindern, Erwachsenen, Alten), sei es die Berücksichtigung circadianer Differenzen. Die Autoren heben die Notwendigkeit hervor, frequenzspezifische Personenexposimeter einzusetzen („Exposimeter“ statt „Dosimeter“ ist gut, denn ohne Wirkungsmechanismus kann es keine Definition der „Dosis“ geben!). Da sich der Einsatz solcher Geräte jedoch in einer breiten epidemiologischen Studie verbietet, sind zunächst Untersuchungen mit vertretbaren Zahlen exposimeter-versorgter Personen erforderlich, um gekoppelt mit lokalen Feldmessungen und persönlichen Aufzeichnungen des Tagesverlauf einen quantitativen Überblick über die tatsächliche Verteilung der Feldexposition einer bestimmten Population zu erhalten.

Neubauer, G.; Feychting, M.; Hammerius, Y.; Kheifets, L.; Kuster, N.M.; Ruiz, I.; Schüz, J.; Uberbacher, R.; Wiart, J.; Rössli, M.: *Feasibility of Future Epidemiological Studies on Possible Health Effects of Mobile Phone Base Stations. Bioelectromagnetics* (2007) 28, 224-230.